

레이저 용접의 모니터링 기술

박영환

Monitoring Technology in Laser Welding

Young Whan Park

1. 서론

레이저 용접은 높은 에너지 밀도의 점 열원을 이용한 용접으로 용접 품질이 우수하고, 가공속도가 매우 빠르며, 이종 접합, 알루미늄 그리고 마그네슘과 같은 다양한 소재에 적용가능하기 때문에 많은 산업현장에서 사용되고 있다¹⁾. 또한 레이저 용접의 자동화에 있어서 용접부의 품질을 예측하는 것은 생산성 향상과 제품의 품질 및 신뢰성 확보에 있어서 매우 중요하다.

레이저 용접부의 품질을 확보하기 위한 검사는 크게 3가지로 나눌 수 있다²⁾. 하나는 용접 전에 용접되는 재료의 상태를 감시하는 것으로 소재의 위치, 갭(gap), 단차(mismatch), 전단면의 상태등을 감시하는 것이다³⁾. 두 번째는 용접 중에 용접되는 현상을 모니터링하는 방법으로 용접중 키흔이나 용융풀, 상변화의 상태를 관찰하여 품질을 판단하는 것이다. 마지막으로 용접 후 용접된 부위의 형상, 기공 등에 의한 불량을 검사하는 것으로 외관검사 및 비파괴검사로 수행된다. 추가적으로 기계적 물성평가를 통해 용접부의 품질을 평가할 수 있다. 이러한 과정은 다양한 센서를 통해 계속되며, 입력 변수와의 상관관계 분석을 통하여 용접부의 품질을 예측하는 연구가 진행중이며, 상용화된 제품들이 출시되었다^{2,4)}.

이 중 본 기술 강좌에서는 용접 중에 발생하는 현상을 관찰하고 이를 통하여 용접부 품질을 예측할 수 있는 용접 중 모니터링 기술의 간단한 원리와 장단점에 대하여 논하고자 한다.

2. 레이저 용접 모니터링 기술

레이저 용접의 모니터링에 있어서, 사람이 나안으로 용접 공정을 관찰하는 것은 매우 위험하다. 그러므로 용접 중 모니터링 기술은 용접 중에 발생하는 다양한 현상들 즉, 음향(acoustic), 소리(sound), 그리고

빛의 방출, 화상(image), 플라즈마에 의한 용접부 주변의 전하의 변동 등을 다양한 센서를 이용하여 계측한다^{1,2,4,5)}. 이를 위한 센서들 중, Fig. 1에서는 음향방사(acoustic emission : AE)나 소리(sound)를 이용하는 방법을, 그리고 빛이나 화상을 이용하는 방법을 Fig. 2에 표시하였다.

음향 방사를 계측하는 방법은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 3군데의 위치에서 측정하는 방법이 주로 사용되고 있다. 계측 센서인 음향방사 트랜스듀서(AE transducer)를 가공 재료 위나 가공물의 상단에 혹은 레이저 반사 거울에 부착하여 계측한다. 재료위에 부착하는 방법은 레이저 가공중에 발생하는 재료의 상변화 및 내부 균열에 의한 스트레스 웨이브(stress wave)의 변화를 계측하는 방법이다. 이 모니터링 방법은 재료의 상변화를 그대로 계측하는 것이므로 균열(crack), 용입 부족 등과 같은 결함을 정확하게 계측할 수 있지만 접촉식이라는 한계가 있다. 그리고 가공물의 상단에 보호가스 노즐과 같은 곳이나 레이저 반사 거울에 부착하여 계측 방법은 키흔의 압력 변화에서 발생하는 신호를 계측하는 방법이다. 이 방법은 신호가 매우 미약하고, 재료와 센서간의 거리가 멀면 계측신호의 신뢰성에 매우 큰 영향을 미치게 된다.

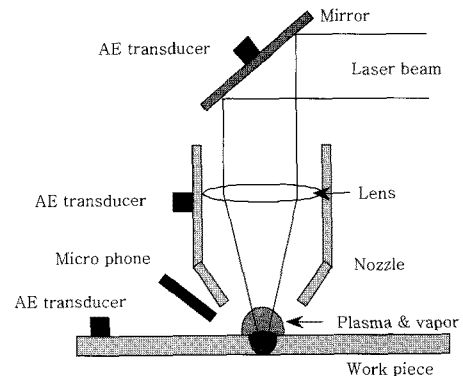


Fig. 1 Acoustic/sound emission detection method

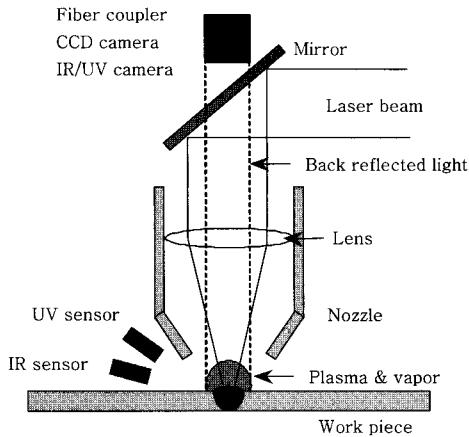


Fig. 2 Light and image detection method

Fig. 1의 마이크로 폰 (microphone) 을 이용하여 소리 신호를 계측하는 경우, 레이저 가공시 발생하는 음파 신호를 계측하는 방법으로 그 계측이 용이하고, 레이저의 가공 특성과 밀접하게 연관을 맺고 있다^{6,7)}. 그러나 주변환경이 제어되는 시스템에서는 유의한 방법으로 사용 가능하나, 그렇지 않은 공장과 같은 공간에서는 주변의 소리에 민감하므로 계측 신호의 신뢰도가 약화된다는 단점이 있다.

레이저 가공공정을 모니터링 하는 방법으로는 Fig. 2와 같은 빛이나 용접부의 이미지를 계측하는 방법이 유용하게 사용된다^{7,8)}. 레이저 가공 시 발생하는 빛은 플라즈마와 용융된 재료의 온도에 의해 방출되는 빛이며 이것은 가공 상태와 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 센서는 포토다이오드로 그 값이 싸며 샘플링 속도를 크게 함으로써 키흔과 용융 풀의 거동을 실시간으로 계측할 수 있다는 장점이 있다. 또한 용접 신호와 품질간의 상관관계를 이용하여 실시간으로 용접 품질을 예측할 수 있는 장점이 있다. 그러나 용접부 내에서 발생하는 결합 즉 균열이나 기공 등은 검출하기 어려운 한계가 있다.

이미지 (image)를 계측하는 방법은 용융풀이나 키흔, 혹은 플라즈마의 생성과 소멸되는 과정을 CCD (Charge Coupled Device)나 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 카메라를 이용하여 용융풀이나 플라즈마의 거동을 계측하는 방법이다. 계측된 이미지를 화상 처리하여 용입 깊이 (penetration depth), 갭 (gap) 이나 단차 (mismatch) 등을 찾아 낼 수 있다. Fig. 3은 CMOS 카메라를 이용하여 용접부를 동축으로 계측한 그림이다⁸⁾. CCD 카메라를 이용하는 경우, 초당 30 프레임 (frame)까지만 계측이 가능하므로, 용융 풀의 움직임이나 키흔의 변동 등을 측정하기에는 그 실효성이 매우 떨어진다. 이를 극복하기

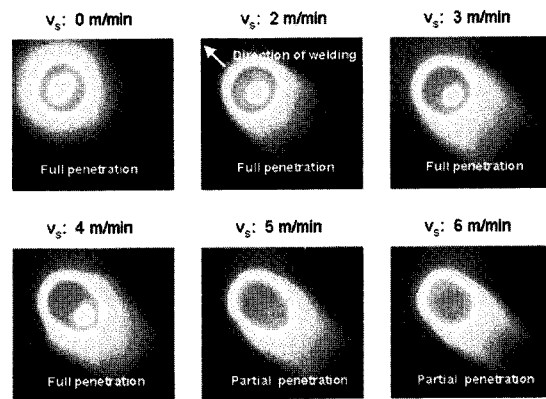


Fig. 3 Weld pool monitoring image using CMOS camera⁸⁾

위하여 CMOS 카메라를 이용하여 국부의 픽셀 (pixel) 만 고속으로 계측하는 방법이 사용되고 있으나 이 방법은 해상도가 매우 떨어진다는 단점을 가지고 있다. 또한 적외선 (infrared: IR) 카메라나 자외선 (ultraviolet: UV) 카메라를 이용하는 방법은 그 가격이 매우 비싸다는 단점이 있다.

이외의 방법으로는 레이저 재료 가공시 발생하는 빛을 화이버 커플러 (fiber coupler)로 집광 및 전달하고 분광기 (spectrometer)를 이용하여 계측 하는 방법도 사용된다^{9,10)}. 그러나 분광기의 가격이 매우 비싸고, 샘플링 속도의 한계가 있다. 이러한 방법은 플라즈마의 성분을 분광학적 해석하거나 플라즈마의 발광 특성을 해석하는 연구에 많이 사용되고 있다.

3. 맺 음 말

레이저 용접은 현재 다양한 산업에 적용된 보편화된 용접 기술이 되었다. 이와 같은 레이저 용접부의 품질 안정화 및 신뢰성 확보를 위해서는 용접 모니터링 기술은 반드시 필요하며, 이러한 기술에 대한 전체적인 개론을 본 강좌를 통해 살펴보았다. 모니터링 기술에 대한 연구와 산업적 적용을 통해 산업 현장에서의 생산성과 경쟁력, 용접의 신뢰성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1. John. F. Ready and Dave. F. Farson : LIA Handbook of Laser Material Processing, Laser Institute of America, 2001, 361-423
2. Kyoung-Don Lee : Quality Monitoring System for Tailored Blank Welding, Journal of KWS, 18-3 (2000), 32-40 (in Korean)
3. Byung-kil Yu and Kyoung-Don Lee : A Study on

- Mechanical Shearing Process for Tailored Blank Welding, *Journal of KWS*, **17-2** (1999), 128-137 (in Korean)
4. A. Sun, E. Kannatey-Asibu, Jr. and M. Gartner : Sensor System for Real-time Monitoring of Laser Weld Quality, *Journal of Laser Applications*, **11-4** (2001), 153-168
 5. 대한용접학회편 : 용접·접합 편람 III 공정 및 열가공, 대한용접학회, 2007, 150-152 (in Korean)
 6. D. Farson, A. Ali and Y. Sang : Relationship of Optical and Acoustic Emission to Laser Weld Penetration, *Welding Journal*, **77-4** (1998), 142s-148s
 7. Jong-Do Kim : Fundamental Study on the Weld Defects and Real-time Monitoring Method, *Journal of KWS*, **20-1**, (2002), 26-33 (in Korean)
 8. J. Beersiek : A CMOS Camera as a Tool for Process Analysis not only for Laser Beam Welding, *Proceedings of ICALEO 01*, (2001), F 206
 9. S. Palanco, M. Klassen, J. Skupin, K. Hansen, E. Schubert, G. Sepold and J. J. Laserna : Spectroscopic Diagnostics on CW-laser Welding Plasmas of Aluminum Alloys, *Spectrochimica Acta Part B : Atomic Spectroscopy*, **56-6** (2001), 641-659
 10. M. Ferrara, A. Ancona, P. M. Lugara and M. Sibilano : On-line Quality Monitoring of Welding Process by Means of Plasma Optical Spectroscopy, In *High-Power Lasers in Manufacturing*, *Proceedings of SPIE*, **3888** (2000), 750-758



- 박영환 (朴永煥)
- 1972년생
- 부경대학교 기계공학부
- 용접공정 / 용접 자동화
- e-mail : parkyw@pknu.ac.kr